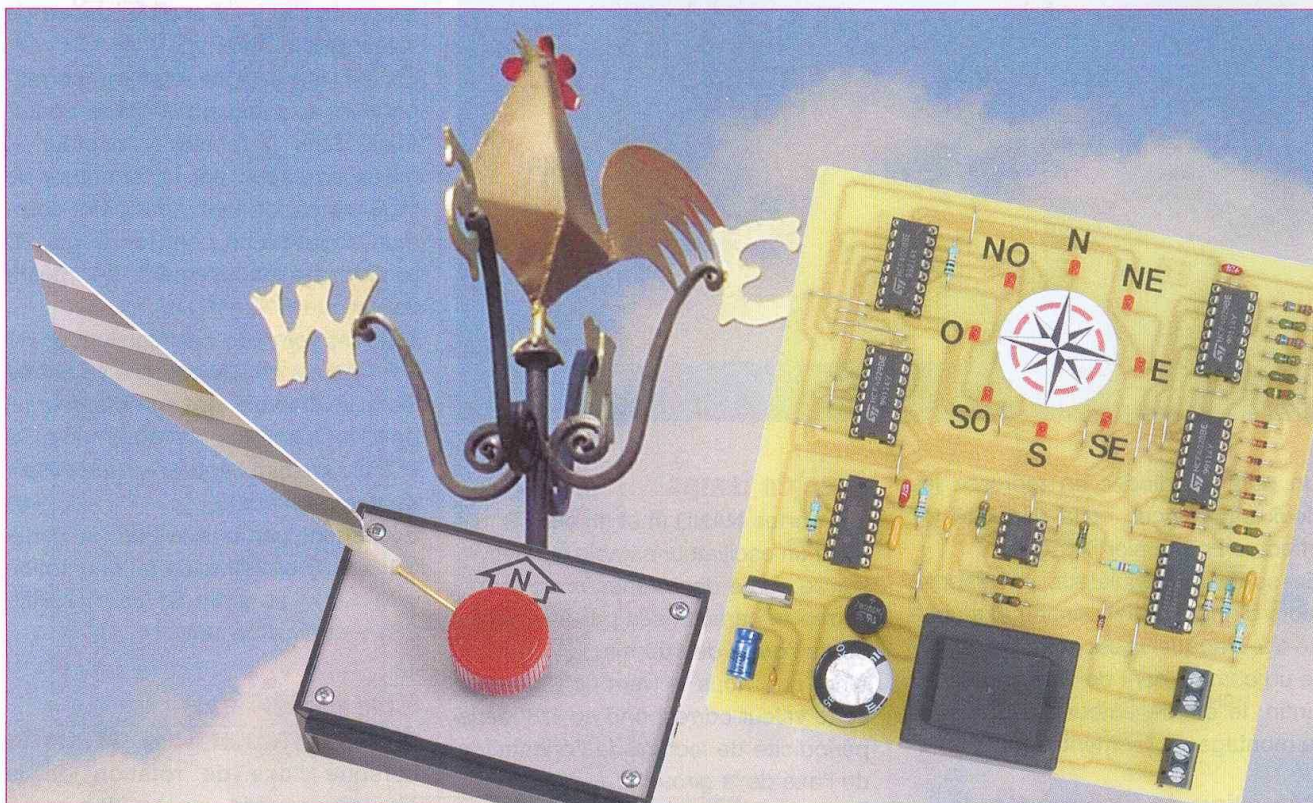


Une girouette



La direction du vent a une influence déterminante dans les prévisions météorologiques. Aux temps les plus reculés, les paysans de nos campagnes se basaient sur ce paramètre avant de planifier leur programme de travail. Semences, moissons, fenaisons et récoltes diverses étaient souvent décidées suite à l'observation de l'évolution du sens du vent.

La girouette qui, par ailleurs, pouvait avoir des configurations diverses, à l'image du coq trônant sur le clocher des églises de nos villages, faisait l'objet de consultations fréquentes. Nous vous proposons une version électronique de cet utile indicateur.

Principe

Pour réaliser la détection de la direction du vent, nous faisons appel au traditionnel aileron vertical tournant autour d'un axe, lui-même vertical. Celui-ci entraîne, en bout d'arbre, un aimant permanent qui se déplace dans un plan horizontal, au-dessus d'un jeu de huit ILS (Interrupteurs à lames souples) disposés circulairement sur les 360° de la rose des vents. De ce fait, ils délimitent les directions suivantes : NORD, NORD-EST, EST, SUD-EST, SUD, SUD-OUEST, OUEST ET NORD-OUEST.

Jusqu'ici, rien de bien novateur. On pourrait même croire, en première réflexion, que chaque ILS pourrait commander l'allumage d'une led indiquant ainsi, à distance, la direction du vent.

En réalité, les choses ne sont pas aussi simples. En effet, il est pratiquement impossible de les disposer de manière à ce que l'ouverture des contacts d'un ILS donné corresponde exactement à la fermeture de l'ILS suivant, si le vent venait à tourner.

Pour une position angulaire critique donnée, correspondant à la bissectrice de l'angle formé par deux directions voisines, on aboutirait forcément à l'un des deux cas indésirables suivants :

- L'allumage de deux leds correspondant à deux orientations voisines
- Aucun allumage de led

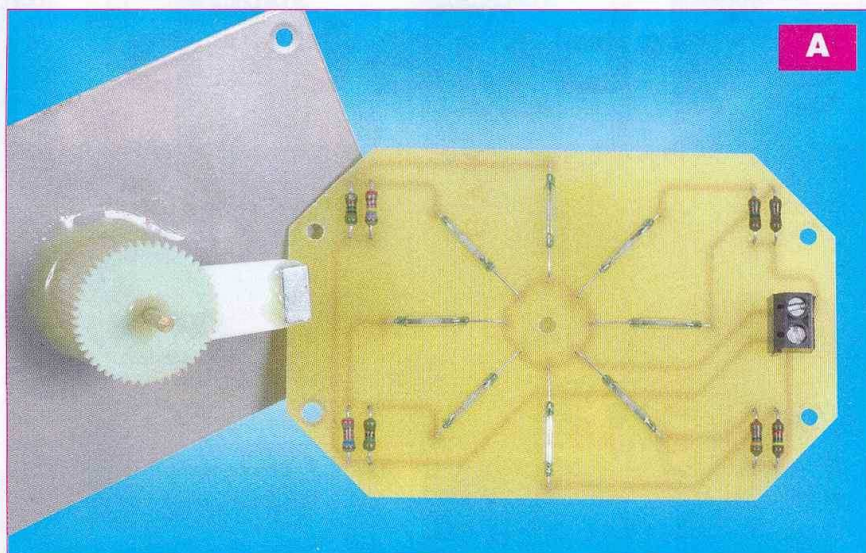
Toutefois, la logique électronique que nous développerons dans les paragraphes suivants résoudra ce problème.

Mais l'électronique peut également apporter une simplification supplémentaire : celle de ne nécessiter qu'une seule paire de fils de liaisons entre le boîtier « capteur » et le boîtier « indicateur ».

Fonctionnement

Alimentation

L'alimentation du montage est très classique. L'énergie est fournie par le secteur à travers un transformateur délivrant, sur son enroulement secondaire, une tension alternative de 12 V (figure 1).



Un pont de diodes en redresse les deux alternances et la capacité C1 effectue un premier filtrage.

En sortie du régulateur, on dispose alors d'un potentiel continu et stabilisé à 9 V, auquel la capacité C2 apporte un complément de filtrage. Enfin, le condensateur C3 découple le montage de l'alimentation.

Détection de l'orientation de la girouette

La rotation de l'axe de la girouette a pour effet de déplacer un aimant permanent au-dessus de huit ILS, également répartis et disposés en cercle (photo A).

De ce fait, l'angle formé par deux ILS voisins a une valeur de 45°.

Dans le cas général, une orientation donnée de la girouette se traduit par la fermeture d'un ILS. Il en résulte l'insertion d'une résistance dont la valeur est particulière à chaque ILS, dans un circuit dont l'origine est le « plus » de l'alimentation, la diode D9, R10 et R12. La cathode de D9 est reliée à l'entrée « non inverseuse » du comparateur (I) de IC1. Le point commun de R10 et de R12 est en relation avec l'entrée « inverseuse » du comparateur (II). Restons-en là pour le moment. Nous reviendrons ultérieurement sur le rôle précis de ces deux comparateurs.

Notons également que, par convention, nous avons affecté l'ILS n°1 à l'orientation « NORD », l'ILS n°2 au « NORD-EST » et ainsi de suite pour terminer avec l'ILS n°8 correspondant au « NORD-OUEST ».

Base de temps

Les portes NAND (I) et (II) de IC2 forment un oscillateur astable qui délivre sur sa sortie des créneaux de forme carrée et caractérisés par une période de l'ordre de 100 ms.

Ainsi que nous le verrons plus loin, cette valeur correspond au 1/8^e de la périodicité de lecture de l'orientation de l'axe de la girouette.

Les portes NOR (III) et (IV) sont montées en trigger de Schmitt dont la sortie délivre des créneaux aux fronts ascendants et descendants, d'avantage verticaux afin de les rendre plus aptes à attaquer l'entrée de comptage du compteur IC4 placé en aval.

Séquenceur

Le compteur IC4 est un CD 4029. Il a fait l'objet d'une description détaillée dans le n°313 d'*Électronique Pratique* (février 2007).

Dans la présente utilisation, il fonctionne simplement comme compteur binaire en base décimale.

Ses sorties Q1, Q2, Q3, et Q4 évoluent au rythme des fronts montants des créneaux présentés sur son entrée « Clock ».

Elles sont en relation avec les entrées de IC6, un CD 4028, c'est-à-dire un décodeur BCD/décimal.

Au fur et à mesure de l'avance du compteur, l'état « haut » se déplace successivement sur les sorties S0, S1, S2 et ainsi de suite.

Lorsque l'état « haut » aboutit à la sortie S8 en relation avec l'entrée « Preset Enable » de IC4, ce dernier est aussitôt remis à zéro. En définitive,

la séquence continue de comptage comporte huit positions indéfiniment renouvelées.

Chaque sortie de IC6 est en relation avec une diode et une résistance de valeur particulière.

En fait, les valeurs retenues correspondent exactement à celles contenues dans le boîtier « capteur », mises en circuit par la fermeture de l'ILS correspondant. Leur point commun aboutit à un pont formé par R9 et R11, respectivement de même valeur que R10 et R12.

Le point commun des résistances R1 à R8 issues de IC6 est relié à l'entrée « non inverseuse » du comparateur (II) de IC1. Quant au point commun à R9 et R11, il rejoint l'entrée « inverseuse » du comparateur (I).

Également par convention, la sortie S0 de IC6 est affectée à l'orientation « NORD », la sortie S1 au « NORD-EST » et ainsi de suite.

Mise en évidence de l'orientation de la girouette

Lorsque l'axe de rotation de la girouette occupe une position angulaire donnée sur le plan de la rose des vents, il convient de détecter cette position sans ambiguïté.

À titre d'exemple, prenons le cas où le vent provient de l'EST.

Dans ce cas, c'est l'ILS n°3 qui est fermé. Étant donné la présence de la diode D9 qui introduit dans le circuit une chute de tension de 0,6 V, pour les calculs, tout se passe comme si le potentiel positif n'était plus que de 8,4 V.

On peut alors déterminer le potentiel U1 appliqué à l'entrée « inverseuse » du comparateur (II).

$$U_1 = \frac{10}{12,1 + 0,182 + 10} \times 8,4 = 3,770 \text{ V}$$

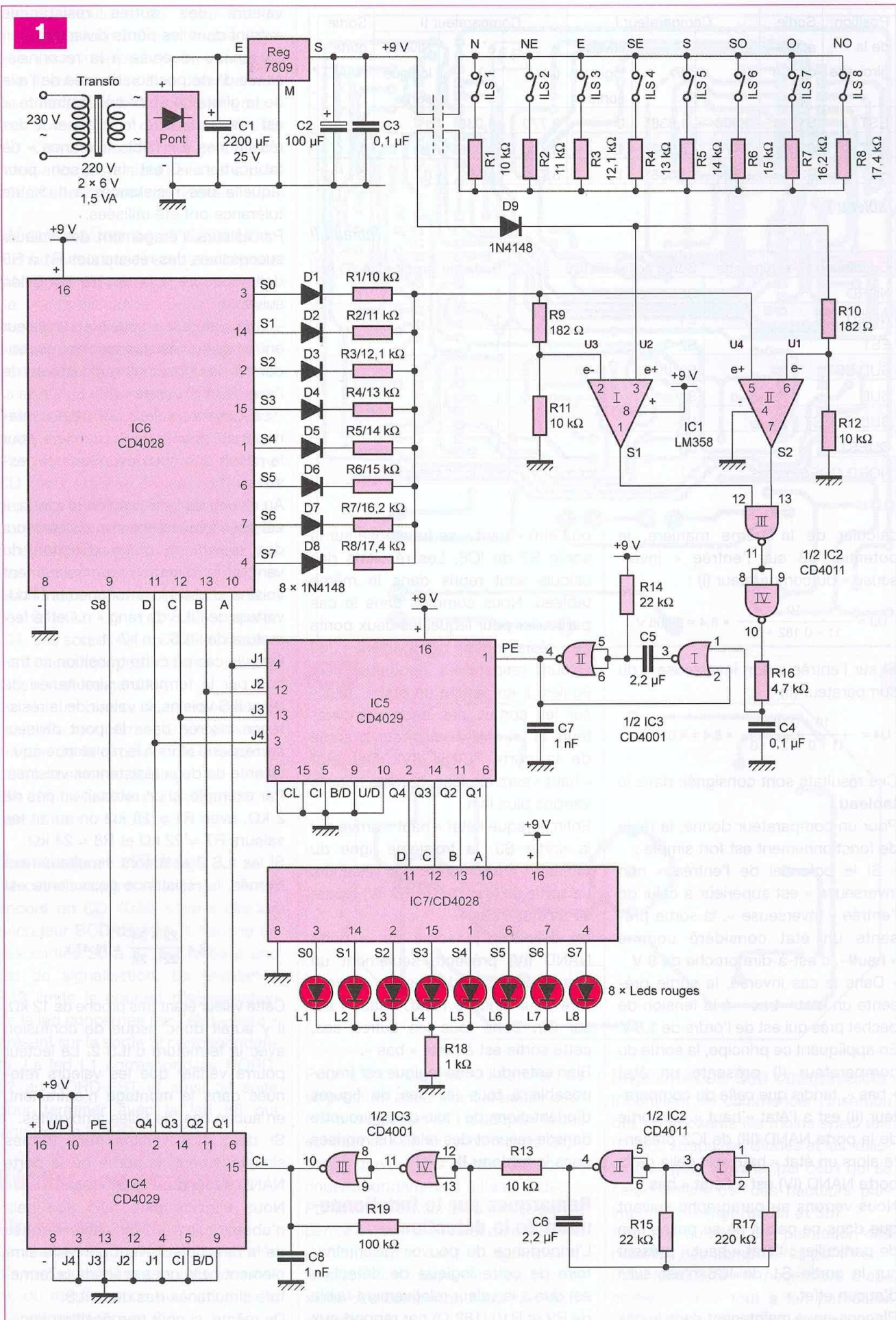
De même pour l'entrée « non inverseuse » du comparateur (I) :

$$U_2 = \frac{10 + 0,182}{12,1 + 0,182 + 10} \times 8,4 = 3,838 \text{ V}$$

Pendant ce temps, l'ensemble compteur-décodeur IC4/IC6 poursuit inlassablement son cycle.

Lorsque l'état « haut » atteint la sortie S1, correspondant par convention au NORD-EST, c'est-à-dire la position précédant l'EST, il est possible de

1



Position de la girouette	Sortie active de IC6	Comparateur I			Comparateur II			Sortie porte NAND IV
		e ⁻ (v)	e ⁺ (v)	Niveau logique sortie	e ⁻ (v)	e ⁺ (v)	Niveau logique sortie	
EST	S1	3,966	3,838	0	3,770	4,038	1	0
EST	S2	3,770	3,838	1	3,770	3,838	1	1
EST	S3	3,624	3,838	1	3,770	3,689	0	0

Tableau I

Orientation de la girouette	Sortie active de IC6	Sortie de la porte NAND IV
NORD	S0	1
NORD EST	S1	1
EST	S2	1
SUD EST	S3	1
SUD	S4	1
SUD OUEST	S5	1
OUEST	S6	1
NORD OUEST	S7	1

Tableau II

calculer de la même manière, le potentiel U3 sur l'entrée « inverseuse » du comparateur (I) :

$$U3 = \frac{10}{11 + 0,182 + 10} \times 8,4 = 3,966 \text{ V}$$

Et sur l'entrée « non inverseuse » du comparateur (II) :

$$U4 = \frac{10 + 0,182}{11 + 0,182 + 10} \times 8,4 = 4,038 \text{ V}$$

Ces résultats sont consignés dans le **tableau I**.

Pour un comparateur donné, la règle de fonctionnement est fort simple :

- Si le potentiel de l'entrée « non inverseuse » est supérieur à celui de l'entrée « inverseuse », la sortie présente un état considéré comme « haut », c'est-à-dire proche de 9 V
 - Dans le cas inverse, la sortie présente un état « bas » à la tension de déchet près qui est de l'ordre de 1,8 V.
- En appliquant ce principe, la sortie du comparateur (I) présente un état « bas », tandis que celle du comparateur (II) est à l'état « haut ». La sortie de la porte NAND (III) de IC2 présente alors un état « haut » et celle de la porte NAND (IV) est à l'état « bas ».

Nous verrons au paragraphe suivant que dans ce cas, il ne se passe rien de particulier : l'état « haut » présent sur la sortie S1 de IC6 n'est suivi d'aucun effet.

Plaçons-nous maintenant dans le cas

où l'état « haut » se transpose sur la sortie S2 de IC6. Les résultats des calculs sont repris dans le même tableau. Nous sommes dans le cas particulier pour lequel les deux ponts de résistances comportent des valeurs respectives rigoureusement égales. Il en résulte un état « haut » sur les sorties des deux comparateurs et un état « haut » sur la sortie de la porte NAND (IV). Cet état « haut » sera exploité, comme nous le verrons plus loin.

Enfin, lorsque l'état « haut » arrive sur la sortie S3, la troisième ligne du tableau I nous montre des résultats. La sortie de la porte NAND (IV) repasse à l'état « bas ».

En définitive, la sortie de la porte NAND (IV) présente seulement un état « haut » pour la position particulière pour laquelle l'état « haut » est sur S2. Dans tous les autres cas, cette sortie est à l'état « bas ».

Bien entendu, cette logique est transposable à tous les cas de figures d'orientations de l'axe de la girouette dans le respect des relations reprises dans le **tableau II**.

Remarques sur le fonctionnement de la détection

L'importance du pouvoir discriminatoire de cette logique de détection est due à la valeur relativement faible de R9 et R10 (182 Ω) par rapport aux

valeurs des autres résistances entrant dans les ponts diviseurs.

La fenêtre réservée à la reconnaissance d'une position donnée de l'axe de la girouette étant très restreinte, il est nécessaire de faire appel à des résistances à « faible tolérance » de fabrication. C'est la raison pour laquelle des résistances à 1 % de tolérance ont été utilisées.

Par ailleurs, l'étagement des valeurs successives des résistances R1 à R8 doit répondre à la double condition suivante :

- Une différence sensible de valeur entre deux résistances correspondant à des positions successives de l'axe de la girouette
- La dernière valeur doit rester inférieure au double de la première pour la raison que nous évoquons ci-dessous.

Au niveau de la réalisation pratique, il est mécaniquement impossible, lors des transitions d'une direction du vent à la direction immédiatement voisine, d'obtenir simultanément l'ouverture de l'ILS de rang « n » et la fermeture de l'ILS « n +/- 1 ».

Dans le cas où cette transition se traduit par la fermeture simultanée de deux ILS voisins, la valeur de la résistance insérée dans le pont diviseur correspond alors à la résistance équivalente de deux résistances voisines. Par exemple, si on retenait un pas de 2 kΩ, avec R1 = 10 kΩ on aurait les valeurs R7 = 22 kΩ et R8 = 24 kΩ.

Si les ILS 7 et 8 sont simultanément fermés, la résistance équivalente est de :

$$R = \frac{22 \times 24}{22 + 24} = 11,47 \text{ k}$$

Cette valeur étant très proche de 12 kΩ, il y aurait donc risque de confusion avec la fermeture d'ILS 2. Le lecteur pourra vérifier que les valeurs retenues dans le montage n'entraînent, en aucun cas, de telles ambiguïtés. Si deux ILS voisins sont fermés simultanément, la sortie de la porte NAND (IV) reste à l'état « bas ».

Nous verrons plus tard que cela n'aboutit pas à une indication erronée de la direction du vent qui reste simplement celle qui a précédé la fermeture simultanée des deux ILS.

De même, si pour une position angu-

laire particulière de l'axe de la girouette aucun ILS n'est fermé, l'entrée « non inverseuse » du comparateur (I) est soumise à un potentiel nul. Sa sortie présente donc un état « bas » tout comme celle de la porte NAND (IV). Comme pour le cas précédent, l'indication reste alors celle qui a précédé cette situation particulière.

Mémorisation de la détection

À chaque fois que la sortie de la porte NAND (IV) présente un état « haut » de reconnaissance d'une position angulaire de l'axe de la girouette, la bascule monostable formée par les portes NOR (I) et (II) de IC3 délivre sur sa sortie un état « haut » d'une durée d'environ 30 ms. Cet état « haut » est présenté sur l'entrée « Preset Enable » d'un second compteur IC5 de type CD 4029. Mais ce dernier ne travaille pas en tant que compteur. Il se contente de mémoriser les niveaux binaires présents à ce moment sur les entrées JAM 1, JAM2, JAM3 et JAM4 respectivement reliées aux sorties Q1, Q2, Q3 et Q4 du compteur IC4. Les sorties Q1 à Q4 de IC5 prennent aussitôt ces mêmes valeurs binaires et les gardent.

La valeur binaire ainsi mémorisée peut être reconfirmée 0,8 s plus tard si l'axe de la girouette n'a pas changé de position angulaire.

Elle peut également être changée si l'axe a subi une rotation.

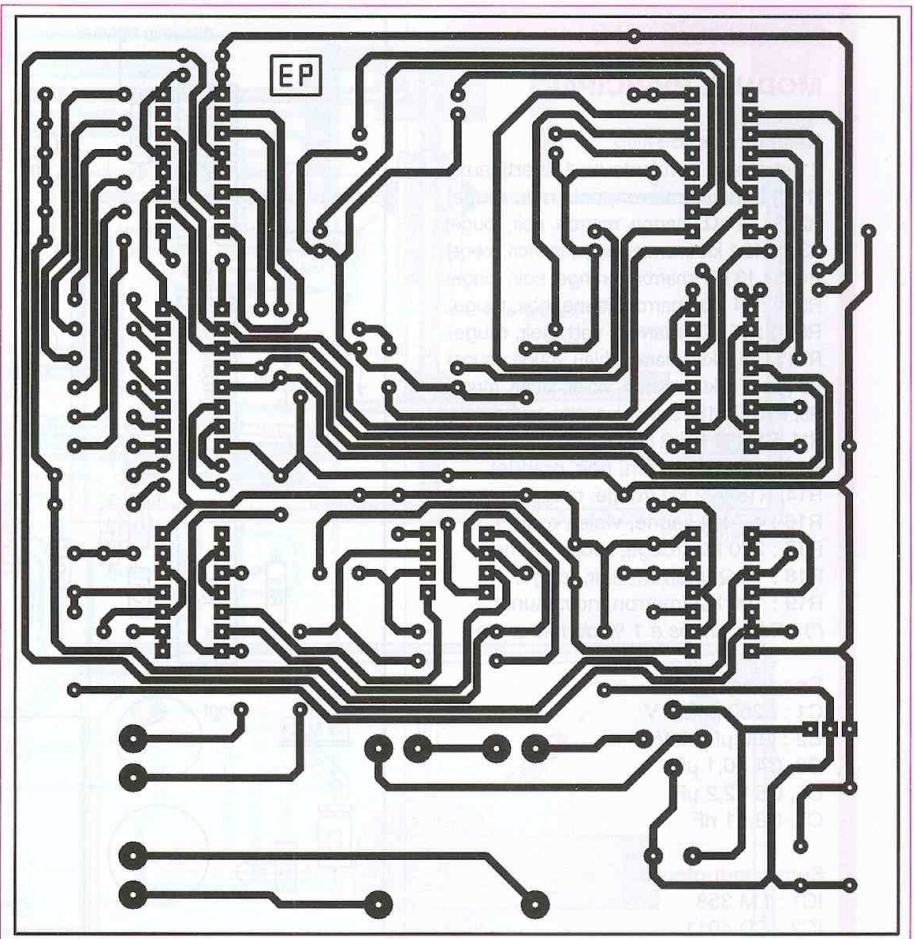
Décodage et affichage

Le circuit intégré référencé IC7 est encore un CD 4028, c'est-à-dire un décodeur BCD/décimal. Chacune de ses sorties S0 à S7 est reliée à une led de signalisation. La résistance R18 limite le courant d'alimentation de la led concernée par l'état « haut » présent sur la sortie Si correspondante. La led L1 correspond au NORD, L2 au NORD-EST et ainsi de suite pour terminer avec la led L8 qui signale le NORD-OUEST.

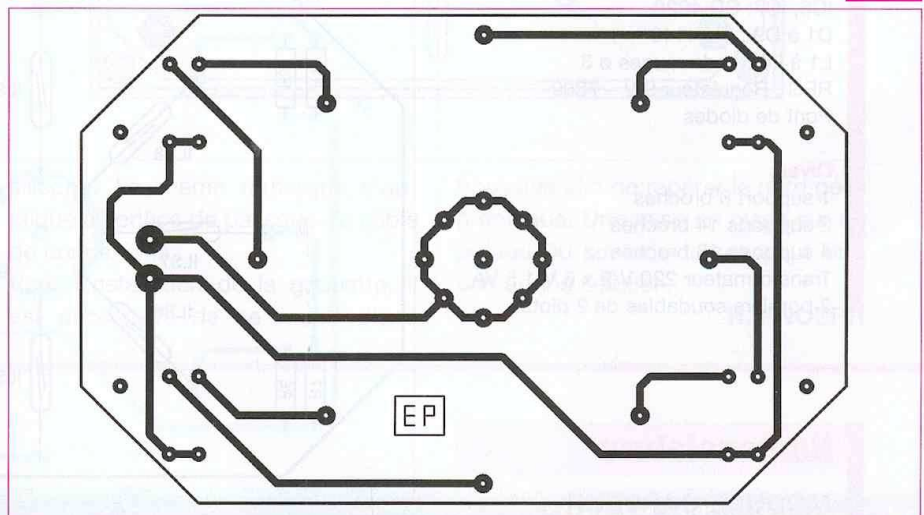
Réalisation pratique

Circuits imprimés

La réalisation des circuits imprimés n'appelle pas de remarque particulière, du moins en ce qui concerne le C.I. principal (figure 2a).



2a



2b

Pour le C.I. « capteur », il convient de se procurer auparavant le boîtier destiné à le recevoir, afin d'adapter le cas échéant ses dimensions (figure 2b). Après gravure, les plaquettes sont à rincer abondamment à l'eau tiède. Par la suite, toutes les pastilles sont à percer à l'aide d'un foret de $\varnothing 0,8$ mm. Certains trous sont à agrandir en fonction des diamètres des connexions des composants les plus volumineux.

Implantation des composants

Il convient de commencer l'insertion des composants les moins épais tels que les straps, les diodes et les résistances, pour terminer par ceux qui se caractérisent par des hauteurs plus importantes (figures 3a et 3b). Attention au sens d'implantation des polarités des composants polarisés. Pour les ILS, il est nécessaire d'apporter un soin tout à fait particulier lors du préformage des connexions.

Nomenclature

MODULE PRINCIPAL

Résistances

21 straps (8 horizontaux, 13 verticaux)
 R1 (*) : 10 kΩ (marron, noir, noir, rouge)
 R2 (*) : 11 kΩ (marron, marron, noir, rouge)
 R3 (*) : 12,1 kΩ (marron, rouge, marron, rouge)
 R4 (*) : 13 kΩ (marron, orange, noir, rouge)
 R5 (*) : 14 kΩ (marron, jaune, noir, rouge)
 R6 (*) : 15 kΩ (marron, vert, noir, rouge)
 R7 (*) : 16,2 kΩ (marron, bleu, rouge, rouge)
 R8 (*) : 17,4 kΩ (marron, violet, jaune, rouge)
 R9, R10 (*) : 182 Ω (marron, gris, rouge, noir)
 R11, R12 (*) : 10 kΩ (marron, noir, noir, rouge)
 R13 : 10 kΩ (marron, noir, orange)
 R14, R15 : 22 kΩ (rouge, rouge, orange)
 R16 : 4,7 kΩ (jaune, violet, rouge)
 R17 : 220 kΩ (rouge, rouge, jaune)
 R18 : 1 kΩ (marron, noir, rouge)
 R19 : 100 kΩ (marron, noir, jaune)
 (*) : Résistances à 1 % de tolérance

Condensateurs

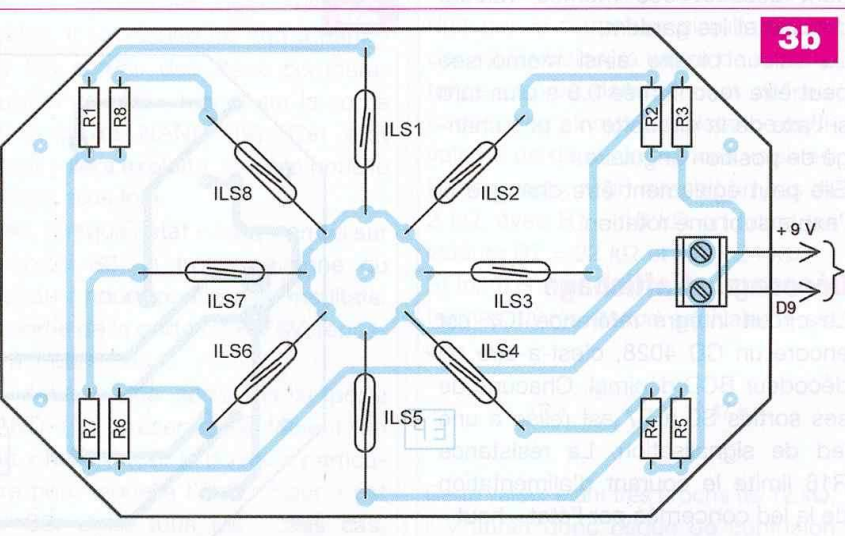
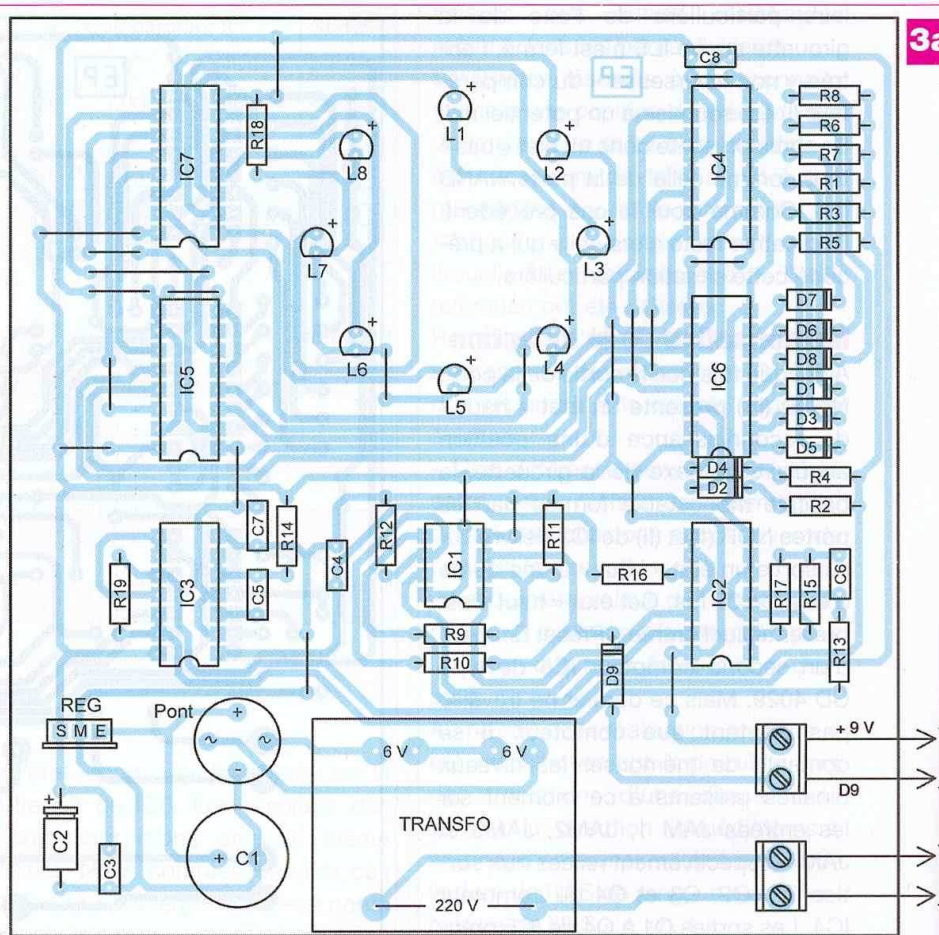
C1 : 2200 µF/25 V
 C2 : 100 µF/16 V
 C3, C4 : 0,1 µF
 C5, C6 : 2,2 µF
 C7, C8 : 1 nF

Semiconducteurs

IC1 : LM 358
 IC2 : CD 4011
 IC3 : CD 4001
 IC4, IC5 : CD 4029
 IC6, IC7 : CD 4028
 D1 à D9 : 1N 4148
 L1 à L8 : Leds rouges ø 3
 REG : Régulateur 9 V - 7809
 Pont de diodes

Divers

1 support 8 broches
 2 supports 14 broches
 4 supports 16 broches
 Transformateur 220 V/2 x 6 V/1,5 VA
 2 borniers soudables de 2 plots



Nomenclature

MODULE CAPTEUR

Résistances

R1 (*) : 10 kΩ (marron, noir, noir, rouge)
 R2 (*) : 11 kΩ (marron, marron, noir, rouge)
 R3 (*) : 12,1 kΩ (marron, rouge, marron, rouge)
 R4 (*) : 13 kΩ (marron, orange, noir, rouge)
 R5 (*) : 14 kΩ (marron, jaune, noir, rouge)
 R6 (*) : 15 kΩ (marron, vert, noir, rouge)
 R7 (*) : 16,2 kΩ (marron, bleu, rouge, rouge)
 R8 (*) : 17,4 kΩ (marron, violet, jaune, rouge)
 (*) : Résistances à 1 % de tolérance

Divers

ILS1 à ILS8 : ILS (long. 13, ø 2)
 Bornier soudable 2 plots



Il est vivement conseillé de maintenir la connexion avec une pince à becs ronds et de procéder au pliage à l'aide d'une autre pince. Si cette précaution n'est pas prise, vous risquez fort de casser la fragile ampoule de verre au niveau de l'entrée de la connexion.

Réalisation de la girouette

La figure 4 et la photo B illustrent un exemple de réalisation.

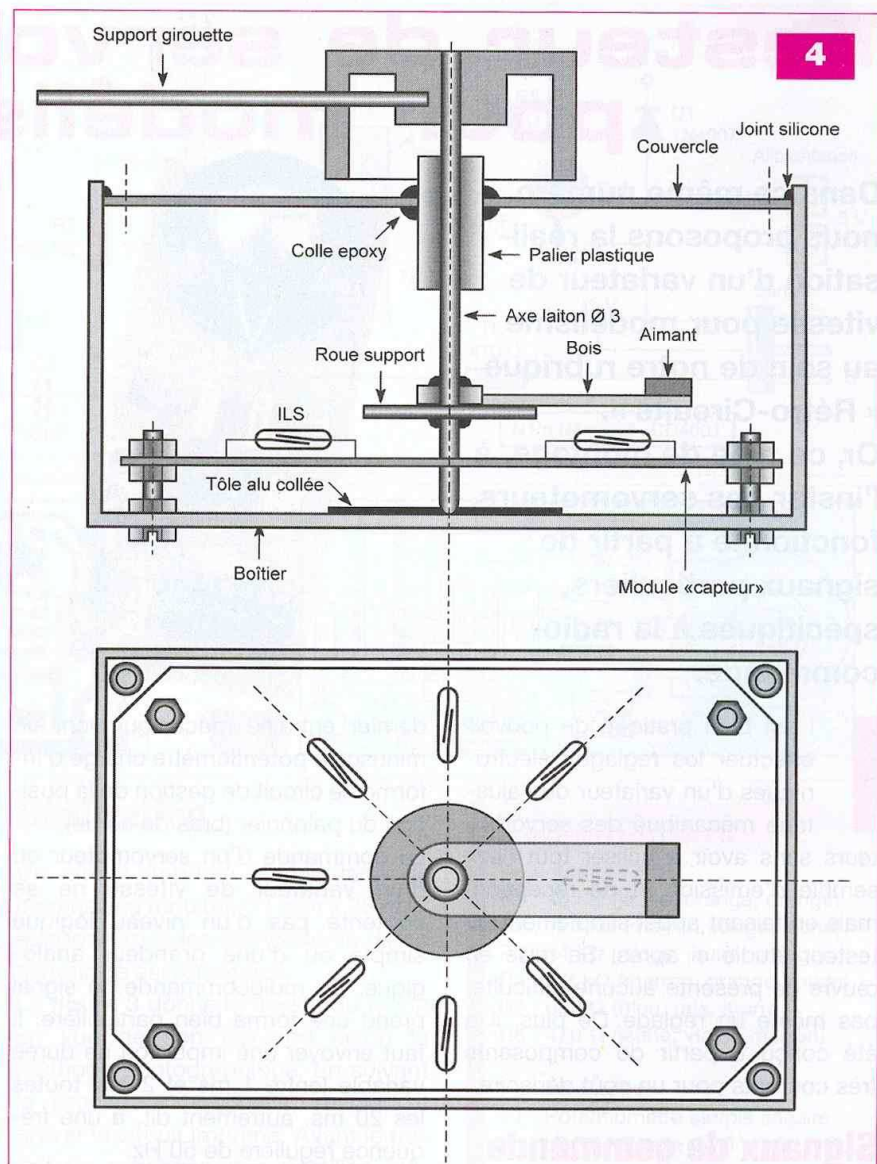
Le point « délicat » est celui du positionnement de l'aimant permanent avec cette double contrainte : son éloignement par rapport à l'axe de rotation de la girouette et la distance séparant les ILS de celle de la trajectoire circulaire de l'aimant.

Il conviendra de procéder à des essais en se servant d'un ohmmètre pour mettre en évidence les ouvertures et les fermetures des ILS.

L'objectif consiste à obtenir l'ouverture de l'ILS de rang « n », en même temps que la fermeture de l'ILS de rang « n +/- 1 » ou, du moins, de s'en approcher le plus possible.

Attention également à l'orientation du bras supportant l'aimant par rapport à l'aileron de la girouette. **Ces deux éléments doivent être en opposition.** En effet, lorsque le vent vient, par exemple, du NORD, l'aileron se positionne en direction du SUD.

La conception mécanique de l'ensemble doit être vue sous l'aspect d'une exposition du boîtier aux intempéries. Il convient donc de prévoir une étanchéité adaptée au niveau de la fermeture du couvercle, en posant, par exemple, un joint en



silicone. La même remarque s'applique à l'orifice de passage du câble de connexions.

Pour l'installation de la girouette, il est nécessaire de se munir d'une

boussole afin de repérer le nord géographique. Une mise en place sur un poteau ou sur une toiture peut être une bonne solution.

R. KNOERR

L'offre pertinente pour vos Circuits Imprimés professionnels

EURO
CIRCUITS

On-line: calculez vos prix
On-line: passez vos commandes
On-line: suivez vos commandes
On-line: 24H/24 & 7J/7

**Pas de minimum de commande !
Pas de frais d'outillages !**

Une équipe novatrice à votre écoute: +33 (0)3 86 87 07 85

www.eurocircuits.com

Verified

- "Standard pooling" à prix très attractifs
- de 1 à 6 couches
- de 1 à 1000 pièces
- délais à partir de 3 jours ouvrés

A la carte

- "Technologie pooling" à prix attractifs
- de 1 à 8 couches
- de 1 à 1000 pièces
- délais à partir de 3 jours ouvrés

On demand

- "Technologie particulière" au juste prix
- de 1 à 16 couches
- de 1 pièce à la moyenne série
- délais à partir de 3 jours ouvrés